Organisent

La 2ème Edition de l'Ecole de Traitements de Surface et Environnement - ***ECOTSE-2013***

Sous le thème : **Anticorrosion: Applications Industrielles et Modélisation**

- Sensibiliser sur l'importance économique de la corrosion ;
- Promouvoir l'intérêt de la prévention contre la corrosion en amont et en aval des procédés ;
- Diagnostiquer les causes de la corrosion ;
- Maitriser les concepts de base de la corrosion et des méthodes de protection.

Conférence thématique :

Procédés de traitement de surface et revêtements industriels :

États des lieux et perspectives de développements

Y. El kacimi[1,2], M. Ebn touhami[1]

(1) Doctorant / Laboratoire d'Electrochimie, Matériaux et Environnement, Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc

(2) Quality & Lean manufacturing Engineer / Visteon Automotive System Morocco

Plan

1. L'industrie des traitements de surfaces
2. Les différents types de traitements de surfaces
3. Structure de marché national
4. Aspects économiques
5. Principaux traitements et leurs utilisations
6. Structure de la carrosserie d'un véhicule
7. Choix des matériaux de la carrosserie d'un véhicule
8. Protection contre la corrosion
9. Procèdes de transformations
10. Procèdes industriel d'Electrozingage ou Galvanoplastie
11. Procédés industriel de Galvanisation à chaud
12. Mise en évidence de l'effet du Si et P sur le comportement à la corrosion des trois types d'acier ordinaire dans les bains de décapages industriels
13. Inhibition du processus dégradation de l'acier dans les bains de décapages industriels

3.1. Répartition par client
3.2. Répartition par fonction d'utilisation
3.3. Répartition par domaines d'applications

10.1. Processus et conditions de traitement
10.2. Caractéristique technique du revêtement Zn/Acier, Zn-Ni/Acier et Zn-Ni/Acier (charger)
10.3. Lutte contre la fragilisation par l'H2

11.1. Processus et conditions de traitement
11.2. Caractéristique technique du revêtement Zn-Al-Ni / Différentes classes d'Aciers
11.2. Composition du bain

1. L'industrie des traitements de surfaces

1.1. Introduction

Le traitement de surface des métaux et par les métaux remonte à la naissance de l'utilisation de l'or dans un but décoratif, avant 4 000 avant J.C. La dorure et l'argenture (y compris leur dépôt à partir d'amalgames) étaient connues au 13ème siècle après J.C., et l'on procédait déjà au dépôt d'étain sur du fer en Bohème en 1200 après J. C. Au milieu du 19ème siècle, l'électrodéposition des métaux fut découverte ceci ouvrant la voie à de nouvelles possibilités, qui sont toujours en cours de développement.

Les propriétés de surface des métaux sont généralement modifiées pour :

1 Augmenter la durée de vie et la fiabilité

- lutte contre la corrosion et l'usure,
- amélioration de la tenue en fatigue.

2 Maîtriser les performances

- résistance à la corrosion,
- conductibilité (ou isolation) électrique ou thermique,
- soudabilité,
- isolation aux rayonnements,
- caractéristiques optiques de la pièce, ...

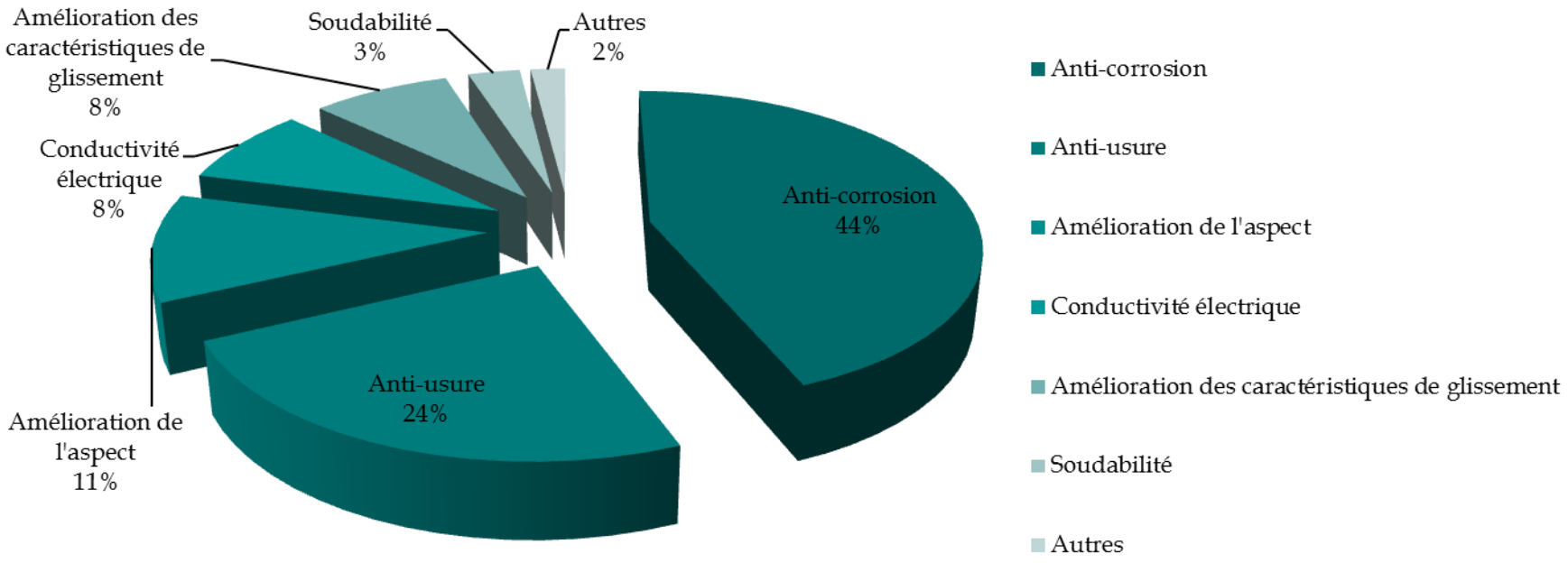
3 Améliorer l'aspect externe

- rugosité,
- couleur, brillance,
- réflectivité, anti-reflets

1. L'industrie des traitements de surfaces

1.3. Structure du marché en fonction des besoins

Une surface est faite pour satisfaire des propriétés d'emploi données. C'est la raison pour laquelle on est souvent amené à pratiquer un (ou des) **traitement** pour **anoblir** la surface et lui conférer une **fonctionnalité spécifique**.



1. L'industrie des traitements de surfaces

1.4. Critères de choix

Aspect

Brillance, couleur

Economiques

- Prix du revêtement, du procédé…
- Durée de vie, entretien

Choix d'un traitement de surface

Matériaux (substrat)

- Nature,
- Composition, structure
- Antécédents métallurgiques
- Forme et dimensions

Conditions de service

- Nature du milieu
- Mode d'exposition
- Conditions climatiques
- Sollicitations mécaniques

Propriété

Mécanique

Dureté, Ductilité, Fluage, Adhérence, Résistance à l'abrasion, A l'usure, au frottement…

Chimique

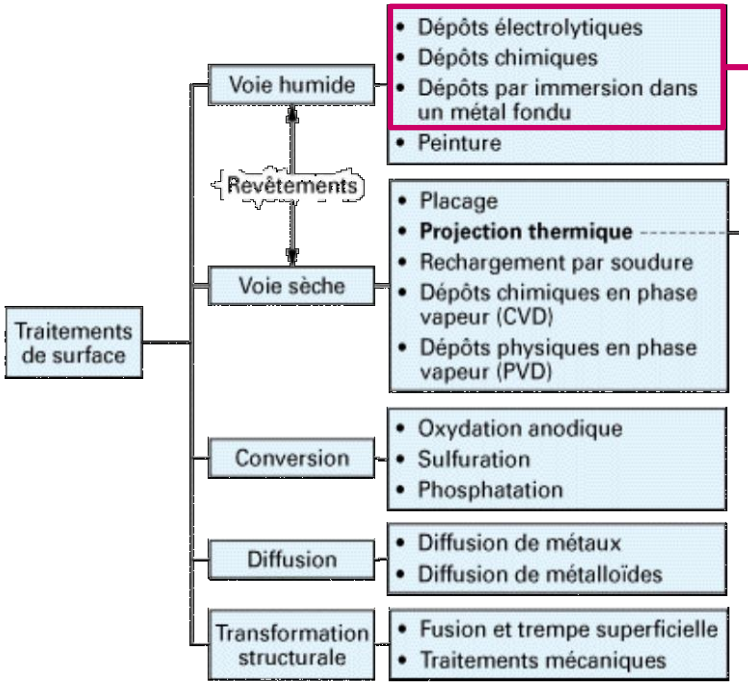
Résistance à la corrosion atmosphérique, aux HT°, industrielles

Physique

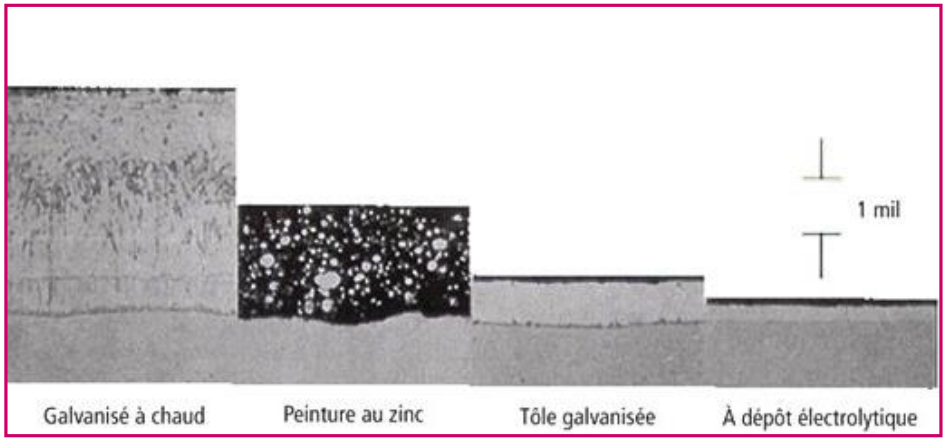
Porosité, Epaisseur, Conductibilité thermique, électrique, Rugosité…

1. L'industrie des traitements de surfaces

1.5. Les différents types



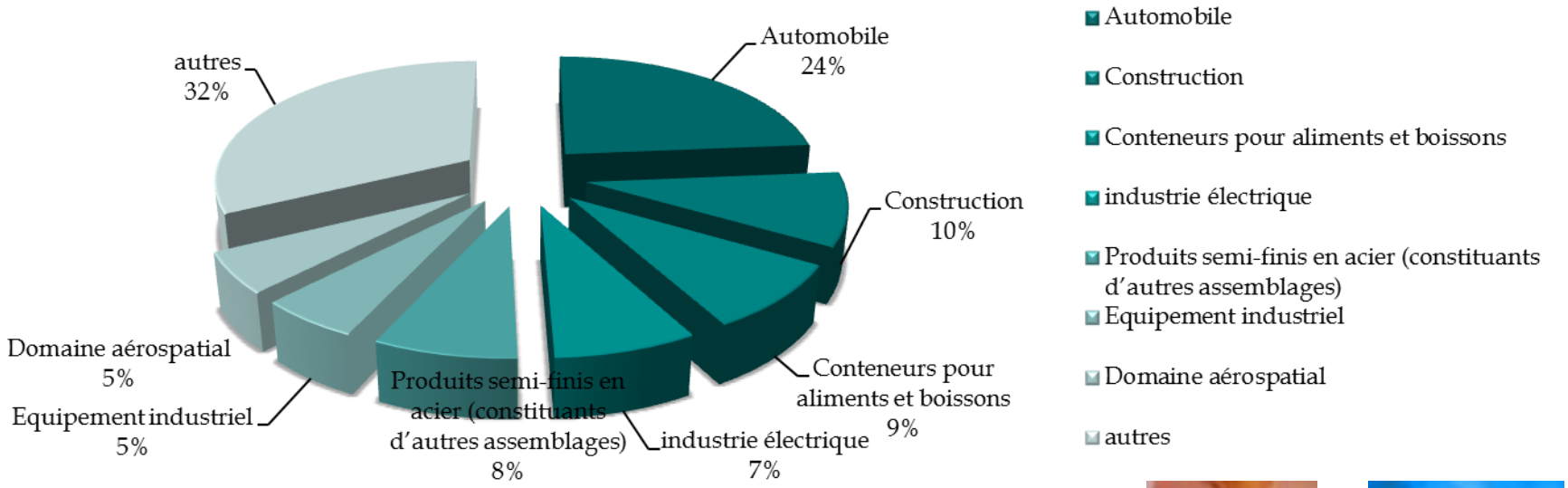
- *Electrozinguage*
- *Galvanisation à chaud*



2. Structure du marché national

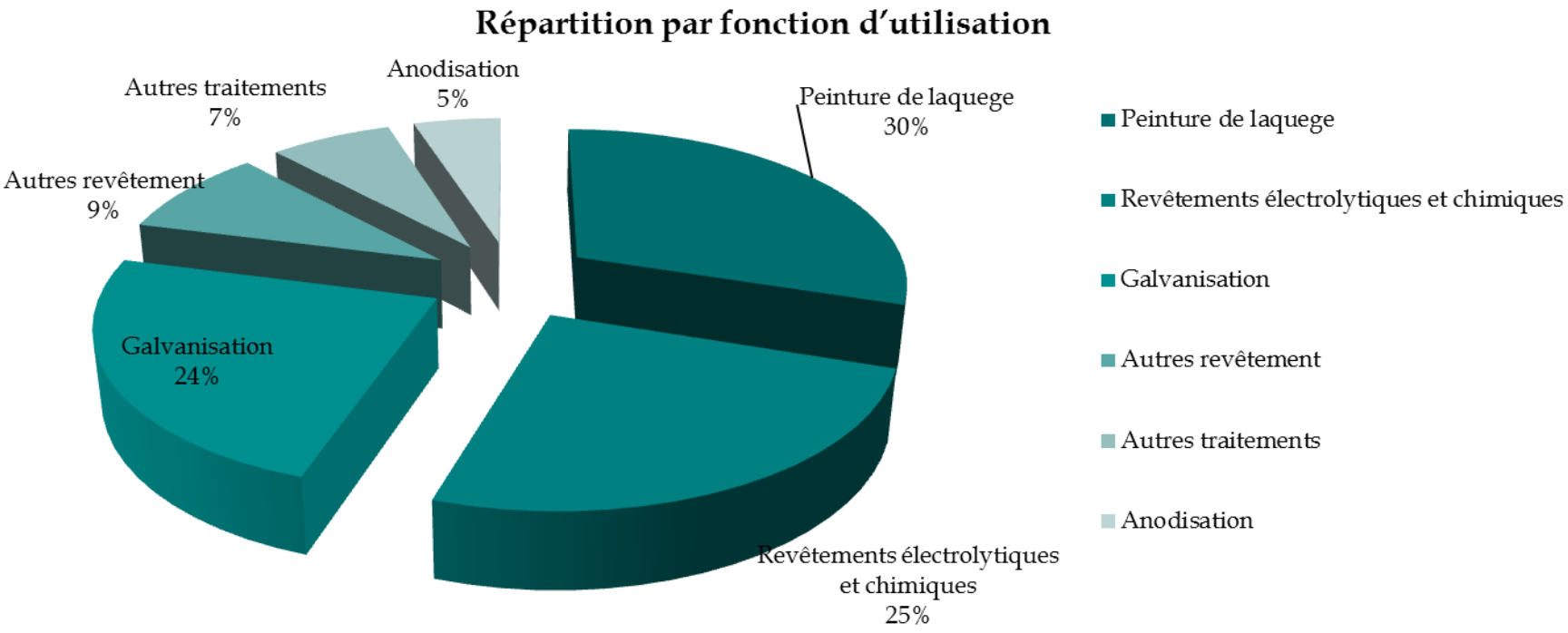
2.1. Répartition par clients

Les traitements de surface ont des applications dans de très nombreux domaines, tels que l'automobile, l'aéronautique, l'ingénierie industrielle ou électrique, le sport, l'électronique, l'armement, etc., permettant l'amélioration de la qualité et des performances des pièces. La structure du marché est approximativement décrite ci-dessous :



2. Structure du marché

2.2. Répartition par fonction d'utilisation



3. Aspects économiques

3.1. Avantages

Les traitements et revêtements de surface des matériaux ont un rôle fondamental dans la maintenance préventive et curative des pièces mécaniques ou non. Leur aspect économique, tant au niveau des pertes directes qu'indirectes, sans oublier le gaspillage en travail et en moyens financiers, est considérable dans la mesure où les deux principales fonctions auxquelles ils répondent : la prévention de la corrosion et celle de l'usure, correspondent dans le monde à un coût annuel de 1363.02 milliards de d'euro, dont 851.89 pour la seule corrosion, c'est-à-dire 3 % du revenu national brut.

À ces deux fonctions essentielles, il faut en ajouter un certain nombre d'autres qui conditionnent l'utilisation des pièces dans l'environnement où elles vont travailler :

1 Augmenter la durée de vie et la fiabilité

- lutte contre la corrosion et l'usure,
- amélioration de la tenue en fatigue.

2 Maîtriser les performances

- résistance à la corrosion,
- conductibilité (ou isolation) électrique ou thermique,
- soudabilité,
- isolation aux rayonnements,
- caractéristiques optiques de la pièce, ...

3 Améliorer l'aspect externe

- rugosité,
- couleur, brillance,
- réflectivité, anti-reflets

et qui doivent être résolues si l'on veut atteindre les objectifs de fiabilité et de rentabilité exigés par l'industrie.

3. Aspects économiques

3.2. Inconvénients

L'amélioration des performances

Liée à la qualité, à la qualification des entreprises, à la normalisation, à l'automatisation.

Contraintes Réglementaires & Environnementales

Traitement des effluents aqueux et gazeux

Évolution de l'industrie de traitement de surface

Les évolutions technologiques

avec la mutation des matériaux métalliques et le développement des non-métalliques : polymères, composites et céramiques

Les techniques nouvelles

Nécessite beaucoup d'énergie, investissement

4. Principaux traitements et leurs utilisations

Type de traitement	Substrat	Effet obtenu	Exemple de pièces de fabrication
• Eléctrozinguage • Galvanisation • Passivation au chrome	Acier	• Protection contre la corrosion • Décoration	• Carrosserie voiture • Composants de système de freinage automobile • Composants de système de lavage de pare-brise ; • Eléments de fixation (écrous, boulons, vis, clous, conception particulière, etc.) pour la construction, l'automobile, l'ameublement. • Châssis et boîtiers d'appareils ménagers (télévision, chaîne HI-FI, appareils vidéo, machines à laver, réfrigérateurs).
• Chromage dur	Acier	• Caractère durable • Caractère anti-adhésif • Surface microlisse	• Amortisseurs automobiles • Moteurs de grande puissance (marine, etc.) ; • Roulement de laminoir (acier et métaux non ferreux). • Rouleaux (pour papeteries) ; • Composants de train d'atterrissage et de contrôle dans l'aérospatiale • Equipement médical..
• Chromage	Bobine d'acier	• Protection contre la corrosion • Décoration	• Emballage de produits alimentaires, ménagers et commerciaux *(boîtes métalliques)*
• Au nickel, dépôt autocatalytique	Acier, aluminium..	• Décoration • Protection contre la corrosion	• Sellerie automobile • Eléments de salle de bains. • Eléments de mobilier. • Machines d'imprimerie et textiles.
• Au nickel, électrolytique	Acier	• Protection contre la corrosion • Décoration	• Sellerie automobile • Pièces de monnaie ; • Eléments de fixation (vis, etc.).

4. Principaux traitements et leurs utilisations

Type de traitement	Substrat	Effet obtenu	Exemple de pièces de fabrication
• Cuivrage et dépôt d'alliage de cuivre *(laiton)*	Acier	• Décoration	• Pièces de monnaie • Eléments de fixation.
• Cadmiage	Acier	• Protection contre la corrosion • Anti-adhérence	• Eléments de fixation de l'aérospatiale
• Dorure	Cuivre, cartes de circuit imprimé	• Protection contre la corrosion • Conductivité élevée	• Connecteurs et fils pour matériel de télécommunications et systèmes d'information
• Anodisation	Aluminium	• Protection contre la corrosion • Décoration (colorée ou non)	• Composants automobile ; • Panneaux de fuselage et d'ailes dans l'aérospatiale ; • Cadres de porte et de fenêtre, bardage. Emballage et biens de consommation
• Anodisation dure	Aluminium	• Caractère durable, dureté accrue	• Surfaces d'appui des turbines de compresseurs pour les moteurs d'automobiles.
• Phosphatation, • Chromatation	Acier, aluminium et autres métaux	• Protection contre la corrosion • Caractère durable *(lubrification des surfaces pour étirage ou formage à froid)* • Permet de surmonter les irrégularités de surface • Caractère d'adhérence pour la peinture	• Carrosseries et panneaux automobile • Ecrous, boulons, vis, tubes ; Pignons de moteurs, arbres à came, pistons, engrenage, soupapes; • Formage à froid de fils, de tubes, ect ; • Emballage de produits alimentaires et ménagers. • Appareils ménagers électriques, etc.
• Etamage et cuivrage, gravure	Cuivre sur matières plastiques	Systèmes de circuit	Cartes de circuit imprimé « aérospatial, produits automobile, télécommunication…»

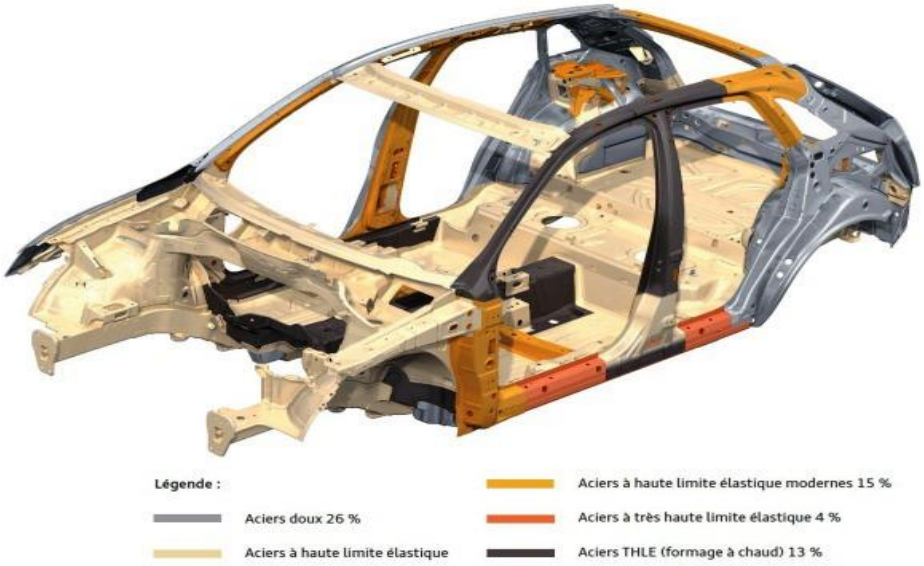
5. Structure de la carrosserie d'un véhicule

Lors du développement de la carrosserie, la priorité est d'avoir une **construction légère**, tout en tenant compte d'une **sécurité élevée** du véhicule.

Le choix de la **qualité des matériaux** utilisés représente un enjeu majeur, afin d'obtenir les avantages d'une réduction de poids (consommation de carburant réduite) mais sans pour autant diminuer les exigences dans le domaine de la sécurité *(résistance des matériaux et absorption du choc)*.

5. Structure de la carrosserie d'un véhicule

Le choix de la **qualité des matériaux** utilisés représente un enjeu majeur, afin d'obtenir les avantages d'une réduction de poids (consommation de carburant réduite) mais sans pour autant diminuer les exigences dans le domaine de la sécurité (résistance des matériaux et absorption du choc).


Légende :
Aciers doux 26 %
Aciers à haute limite élastique
Aciers à haute limite élastique modernes 15 %
Aciers à très haute limite élastique 4 %
Aciers THLE (formage à chaud) 13 %

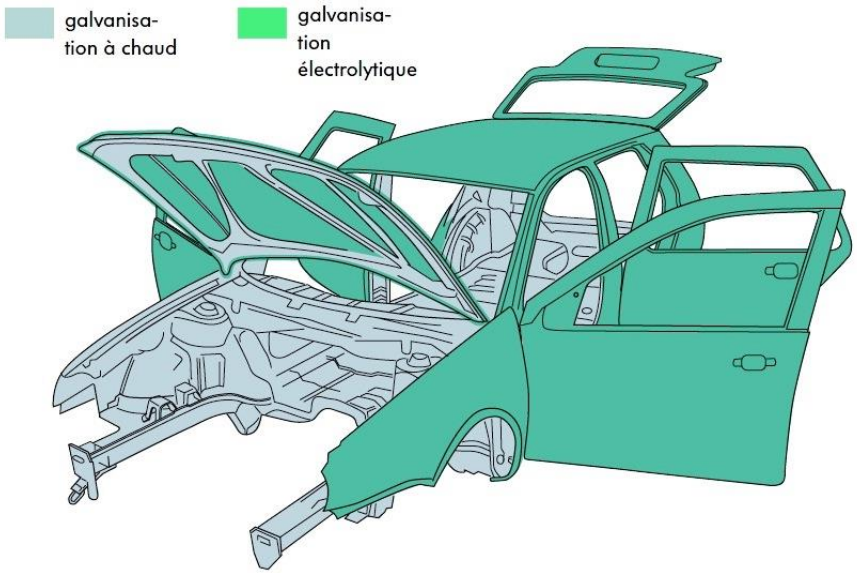
La carrosserie en cas de choc doit pouvoir **absorber et dissiper l'onde de choc** à travers des **canaux de déformation** bien définis. L'objectif est de **préserver** le plus possible la **cellule de vie** (habitacle) afin de protéger les occupants du véhicule.

6. Protection contre la corrosion

La majorité des constructeurs ces dernières années garantissent la protection de leurs véhicules contre la corrosion pendant une période de 10 ans au minimum.

Comment font-ils ?

Toute la carrosserie est entièrement galvanisée soi à chaud (surfaces cachées) soi par procédé électrolytique (surfaces apparentes).



Toutes les pièces qui ne sont pas visibles de l'extérieur sont galvanisées à chaud :	Toutes les tôles de l'enveloppe extérieure sont galvanisées par procédé électrolytique :
surface rugueuse	surface lisse
couche de zinc de 10 µm env.	couche de zinc de 8µm env.
formage difficile	formage facile

7. Procédés industriels d'électrozingage

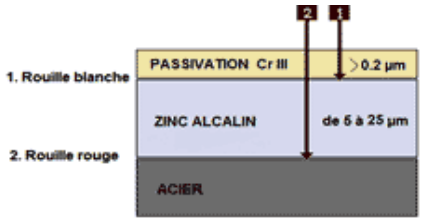
7.1. Processus et conditions de travail

Type de traitement :
Zingage et passivation au chrome

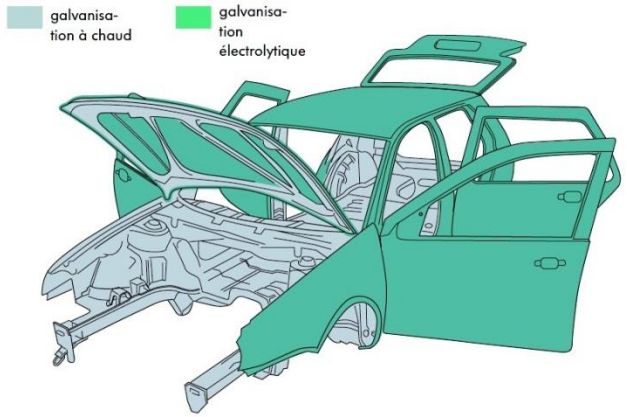
Substrat :
Acier

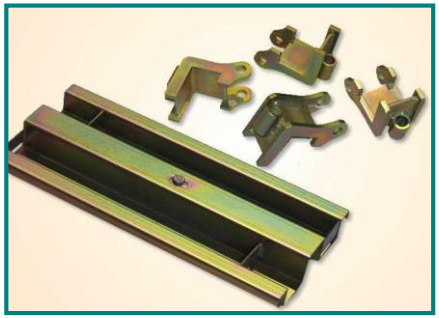
Effet obtenu :
- Protection contre la corrosion
- Décoration
- Couche de zinc 10 à 20 µm

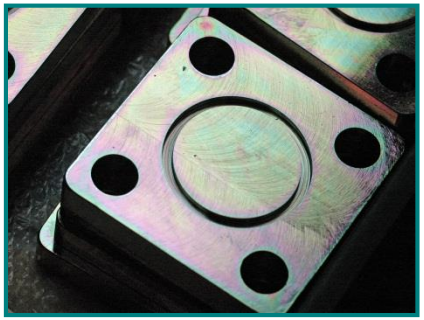
Applications :
- Eléments de fixation (écrous, boulons, vis, clous, conception particulière, etc.) pour la construction, l'automobile, l'ameublement.
- Composants de système de freinage automobile, composants de système de lavage de pare-brise ;
- Châssis et boîtiers d'appareils ménagers



Famille de zinc	Caractéristiques
Zinc acide	Très brillant utilisé dans un but décoratif, convient idéalement au traitement de surfaces de fonte en acier dur (performance anti-corrosion faible).
Zinc alcalin	Sans cyanure : très utilisé pour la tenue à la corrosion et bien adapté à la métallisation de composants de formes complexes (industrie automobile).
Zinc nickel	Extrêmement résistant aux températures élevées.
Zinc Fer	Excellent niveau d'adhérence à n'importe quel type de pièce.



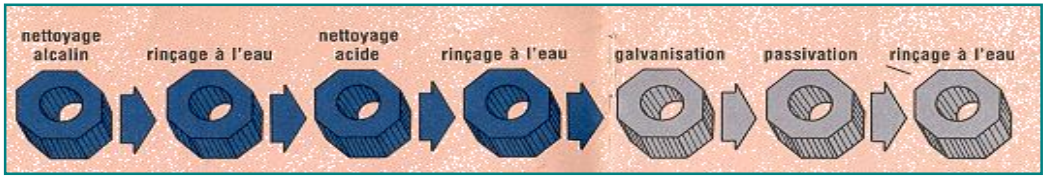




Toutes les pièces qui ne sont pas visibles de l'extérieur sont galvanisées à chaud :	Toutes les tôles de l'enveloppe extérieure sont galvanisées par procédé électrolytique :
surface rugueuse	surface lisse
couche de zinc de 10 µm env.	couche de zinc de 8µm env.
formage difficile	formage facile

7. Procédés industriels d'électrozingage

7.1. Processus et conditions de travail



Bains	Condition de travail	
	Température (°C)	Temps de séjour (mn)
1. Chargement	/	/
2. Dégraissage chimique alcalin	60 - 95	15 - 30
3. Dégraissage électrolytique anodique	Ambiante	05 - 15
4. Rinçage en cascade x 2	Ambiante	2 – 5
5. Décapage x 2	Ambiante	15 – 30
6. Rinçage en cascade x 2	Ambiante	2 – 5
7. Zingage	27 - 35	30 – 40
8. Rinçage mort x 1	Ambiante	2 – 5
9. Rinçage en cascade x 2	Ambiante	2 – 5
10. Rinçage mort x 1	Ambiante	2 – 5
11. Rinçage x 1	Ambiante	2 – 5
12. Passivation bleue	Ambiante	35sec - 1
13. Rinçage mort x 1	Ambiante	2 – 5
14. Passivation jaune	Ambiante	15 – 30sec
15. Rinçage en cascade x 2	Ambiante	2 – 5
16. Etuve (séchage)		
17. Déchargement	/	/

Les étapes en atelier :

1) Décapage

La pièce est en premier immergé dans un bassin acide afin de subir un décapage, il s'agit d'enlever les éventuelles traces de corrosion.

2) Rinçage

Un premier rinçage est effectué afin de ne pas polluer les opérations suivantes.

3) Phosphatation

Considéré comme une alternative à un traitement au chrome, la phosphatation a pour but d'améliorer les propriétés anti-corrosion de l'acier.

4) Second rinçage

Précédent le traitement au zinc électrolyte, un autre rinçage de la pièce est effectué.

5) Immersion bassin

Le revêtement de zinc est réalisé par l'électrolyse d'une solution aqueuse contenant des sels métalliques (sulfate de zinc) sur la pièce en acier.
L'électrolyse consiste à convertir l'énergie électrique en énergie chimique.

7. Procédés industriels d'électrozingage

7.2. Caractéristique techniques du revêtement

- **Aspect de surface**

La qualité de surface obtenue satisfait aux exigences les plus sévères en matière d'aspect après peinture pour la réalisation des pièces extérieures de carrosserie.

- **Dureté**

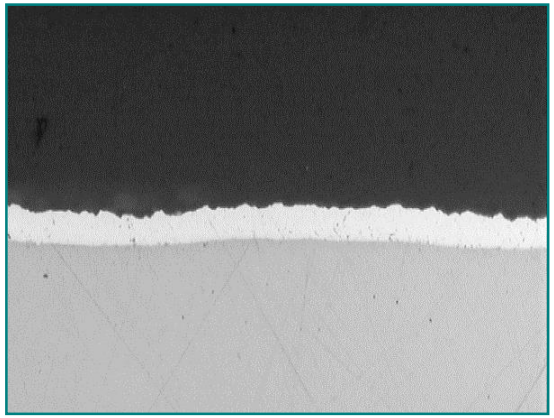
Le revêtement électrozingué est un revêtement de zinc pur. Il est donc ductile, ce qui lui permet de supporter des taux de déformation importants. Une préparation adaptée de la surface avant électrozingage garantit l'adhérence du revêtement.

- **Epaisseur de revêtement**

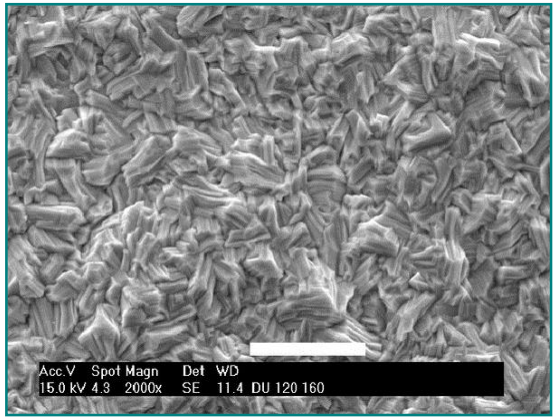
En l'absence de spécification, les épaisseurs de revêtement proposées de façon standard sont de 5 et 7,5 µm par face, mais d'autres demandes peuvent être étudiées. Nous consulter pour la réalisation d'autres épaisseurs de revêtement.

- **Morphologie**

Le revêtement électrozingué est un revêtement de zinc pur. Il est donc ductile, ce qui lui permet de supporter des taux de déformation importants. Une préparation adaptée de la surface avant électrozingage garantit l'adhérence du revêtement.



Aspect en coupe (x 1000) du revêtement électrozingué 7,5/7,5

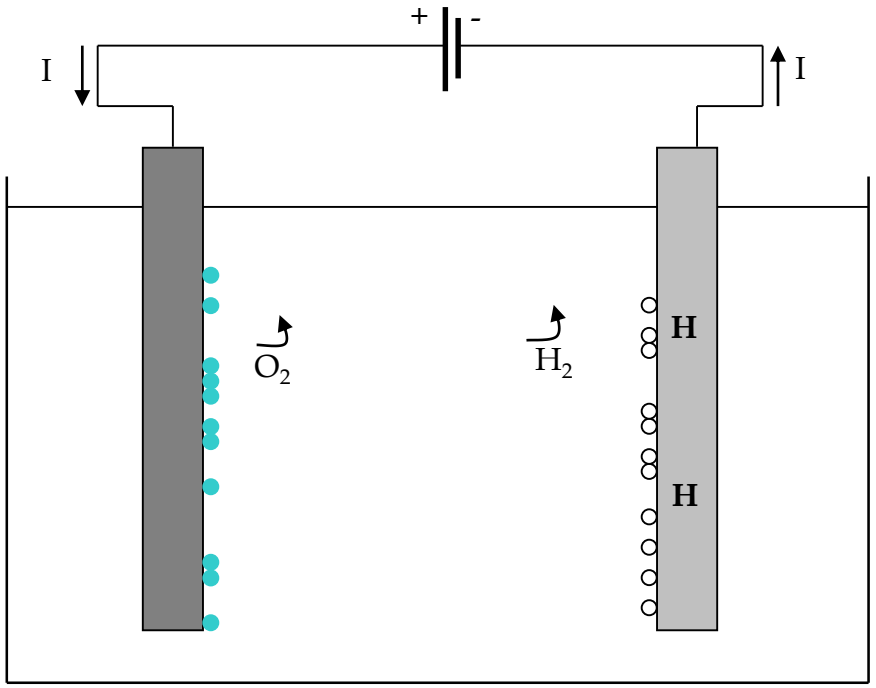


Aspect de surface (x 2000) du revêtement électrozingué (MEB)

7. Procédés industriels d'électrozingage

7.3. Lutte contre la fragilisation par H_2

Électrozingage alcalin



Anode non soluble

$4\ OH^- \rightarrow O_2 + 4\ e^- + 2\ H_2O$

Cathode

$ZnO_2^{2-} + 2\ H_2O + 2e^- \rightarrow Zn + 4\ OH^-$

$2\ H_2O + 2\ e^- \rightarrow 2\ OH^- + H_2$

Revêtement électrolytique de Zn-Ni alcalin

Amélioration de la tenue à la corrosion

↓

Résistance à la corrosion

↙ supérieure de cinq à dix fois à celle d'un revêtement de zinc

↘ teneurs en nickel compris entre 10% et 16%

⇓

➢ Par retour d'expérience dans le domaine de la visserie, le Zn-Ni semble moins fragilisant voir non fragilisant.

⇓

➢ Zn fragilisant

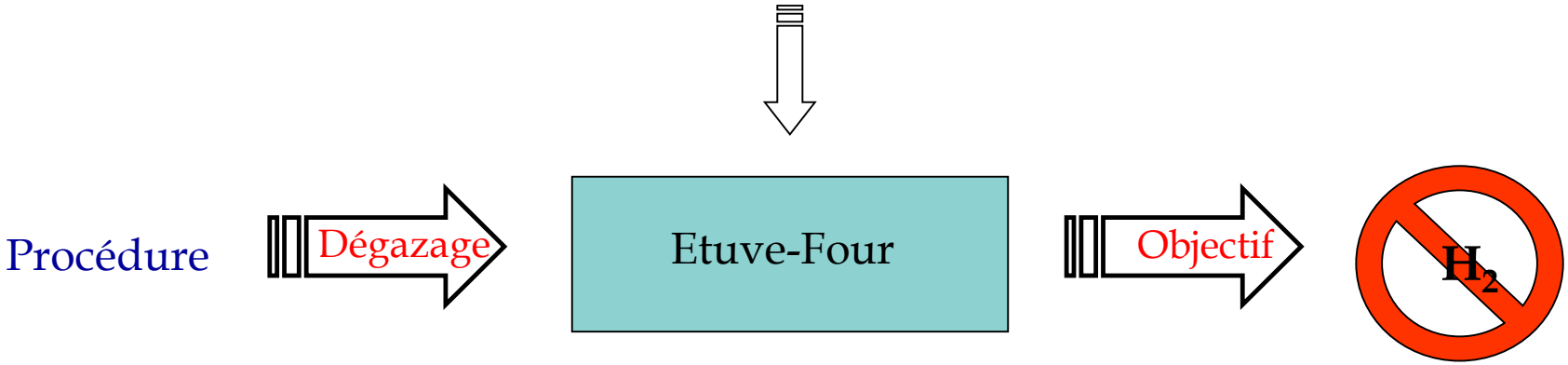
➢ Zn-Ni non fragilisant

7. Procédés industriels d'électrozingage

7.3. Lutte contre la fragilisation par H_2

Réduire le risque de rupture

- Étuvage après l'élaboration de revêtement électrolytique



Éliminer le risque de rupture

- Tenir compte du type de revêtement électrolytique

Pour le Zn-Ni alcalin, est il nécessaire de faire un traitement thermique?

7. Procédés industriels d'électrozingage

7.3. Lutte contre la fragilisation par H_2

Simulation des conditions industriels :

- Revêtement (Zn alcalin ou Zn-Ni alcalin) d'épaisseur 8 µm
- Test réalisé après 24 h
- 72 h de mise sous tension à F = 90% Rm

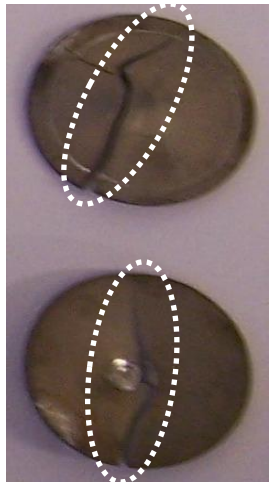
F : Force appliquée

Rm: Résistance maximale à la rupture

Faciès des pièces après serrage

Acier nu

Zn/acier



Zn-Ni/acier

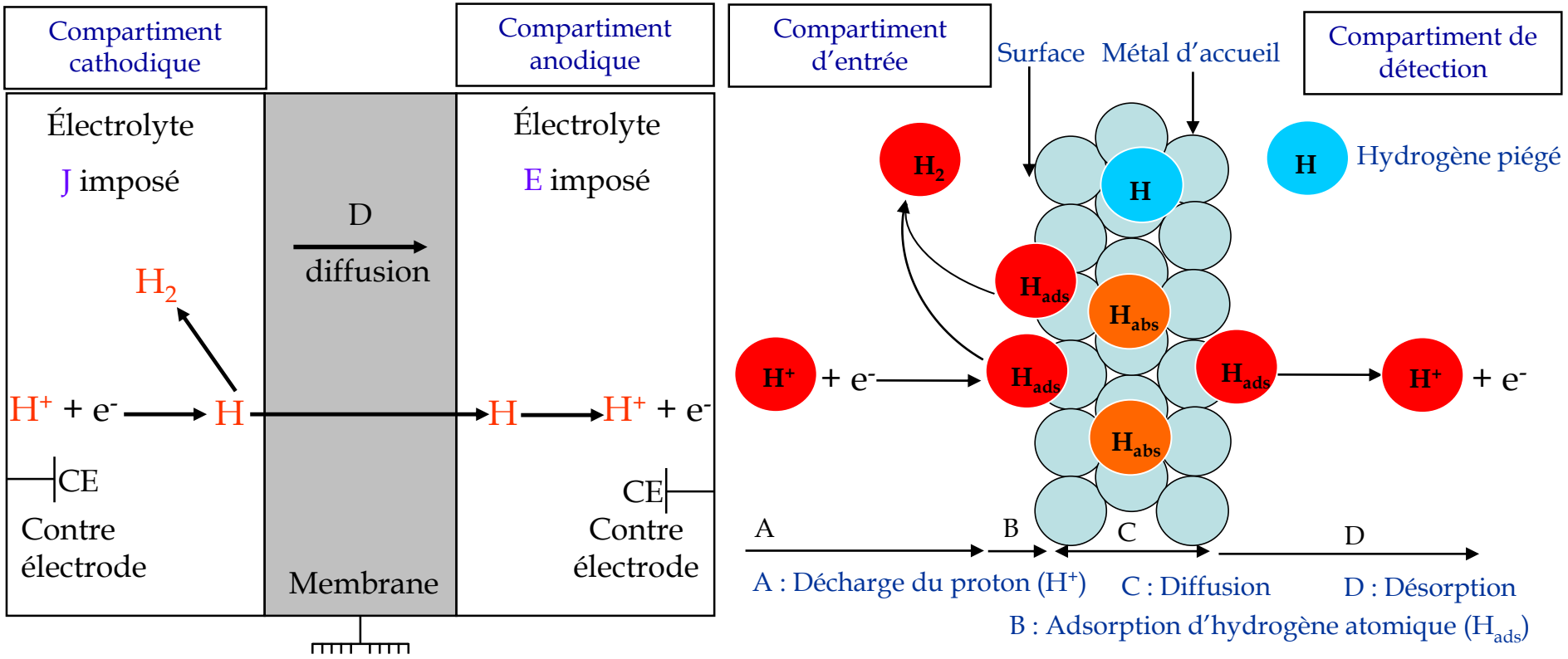
Nos essais sont en accord avec le retour d'expérience

7. Procédés industriels d'électrozingage

7.3. Lutte contre la fragilisation par H_2

- Simulation de processus des différentes étapes subies par la pièce lors de l'électrozingage.

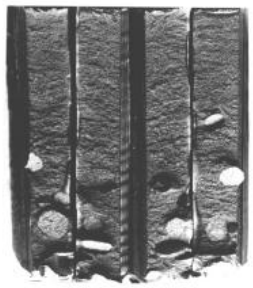
Principe de la perméation



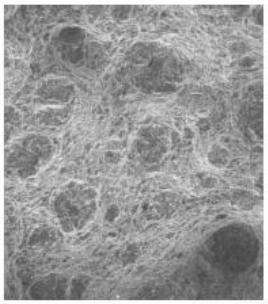
7. Procédés industriels d'électrozingage

7.3. Lutte contre la fragilisation par H_2

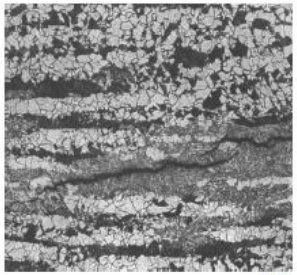
Exemple d'endommagement dus à l'H_2 interne



ⓐ flocon x 1

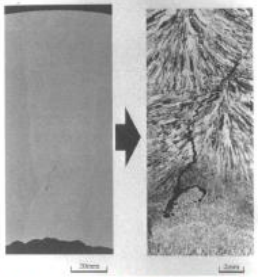


ⓑ "œils de poisson" x 150



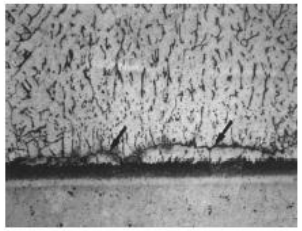
x 150

ⓒ fissure de ségrégation



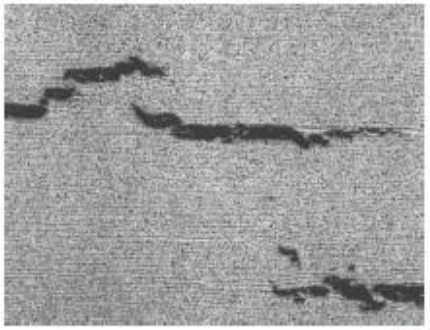
La fissure évolue par marches successives correspondant probablement aux cycles d'arrêt-démarrage de l'installation [5]

ⓓ fissuration interne se propageant à partir d'un défaut dans la soudure d'un appareil d'hydrotraitement



ⓔ disbonding x 150

Exemple d'endommagement dus à l'H_2 externe



x 30

ⓐ fissuration HIC observée dans un appareil à pression fonctionnant en atmosphère H_2S humide

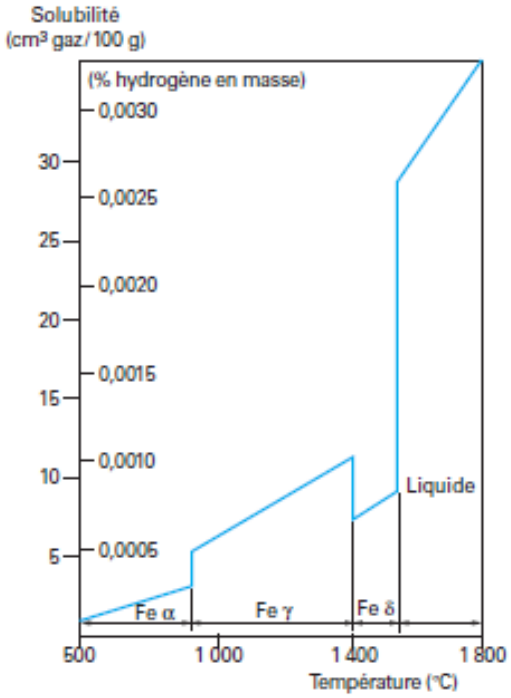
x 5

La fissure s'est amorcée dans la zone affectée de la soudure (SSC : *Sulfide Stress Cracking*) et se propage par un mécanisme de SOHIC (*Stress Oriented Hydrogen Induced Cracking*) dans le métal de base

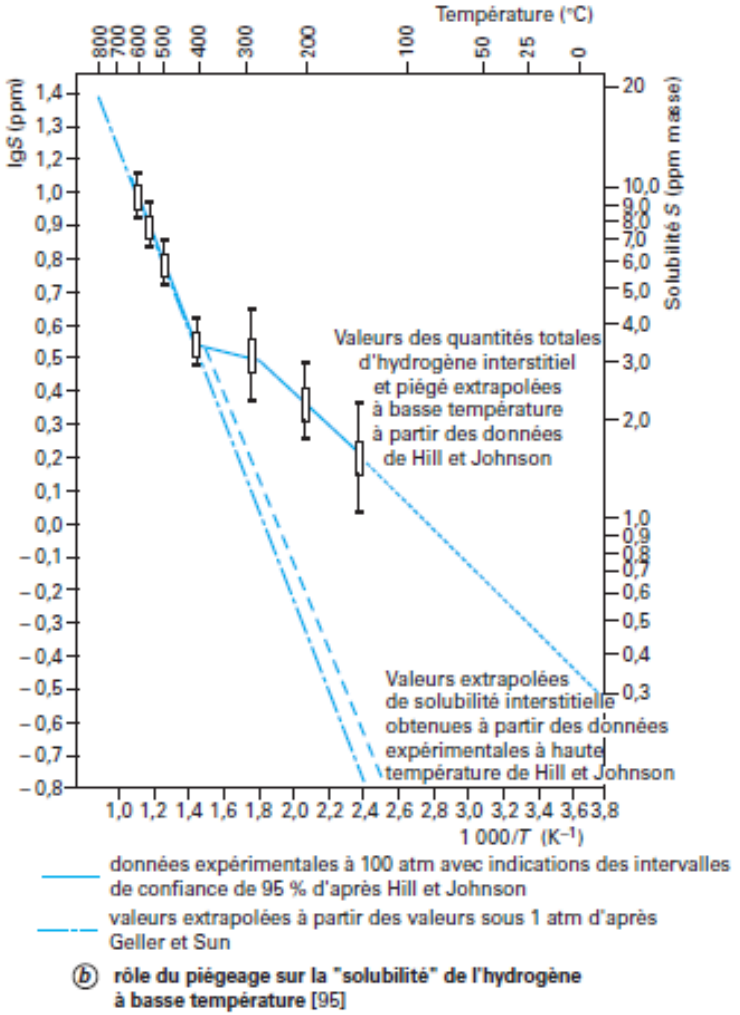
ⓑ fissuration dans la soudure d'un appareil de traitement de gaz [10]

7. Procédés industriels d'électrozingage

7.3. Lutte contre la fragilisation par H_2



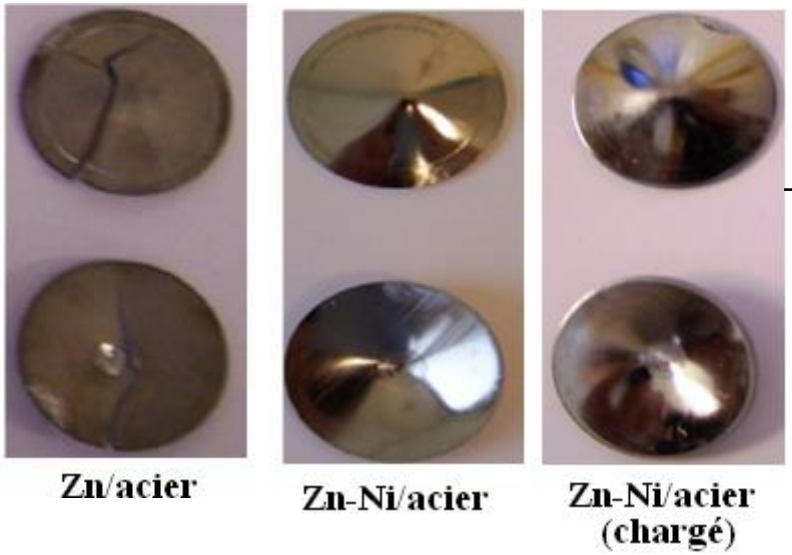
ⓐ **variation de la solubilité associée aux transformations de phase** [94]

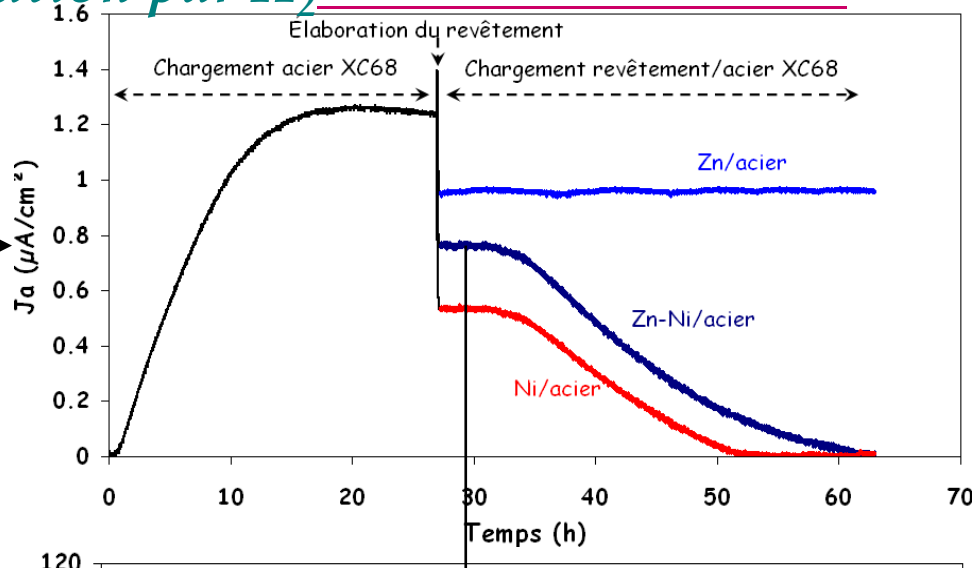

Température (°C)
800
700
600
500
400
300
200
100
50
25
0
lgS (ppm)
Solubilité S (ppm masse)
Valeurs des quantités totales d'hydrogène interstitiel et piégé extrapolées à basse température à partir des données de Hill et Johnson
Valeurs extrapolées de solubilité interstitielle obtenues à partir des données expérimentales à haute température de Hill et Johnson
1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8
1 000/T (K⁻¹)
données expérimentales à 100 atm avec indications des intervalles de confiance de 95 % d'après Hill et Johnson
valeurs extrapolées à partir des valeurs sous 1 atm d'après Geller et Sun

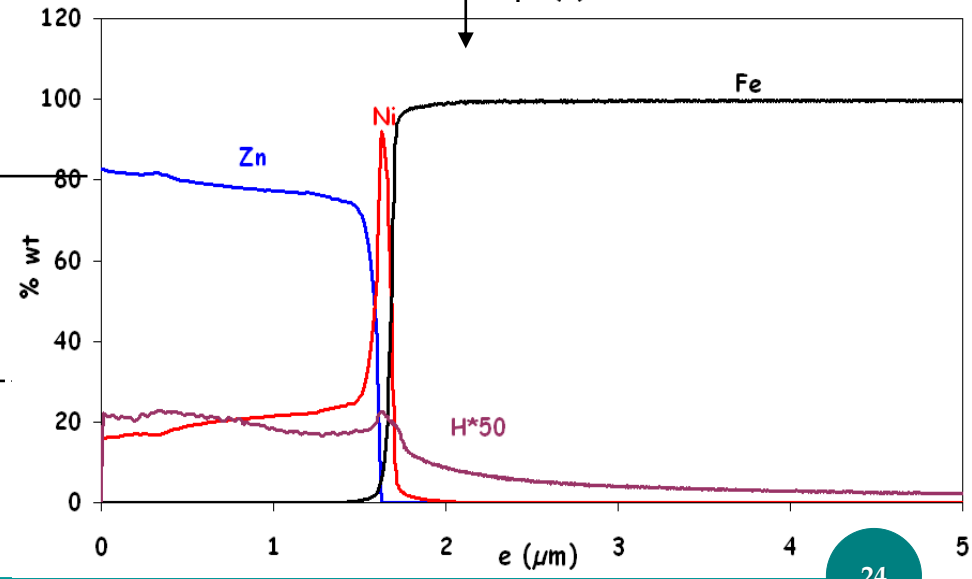
ⓑ **rôle du piégeage sur la "solubilité" de l'hydrogène à basse température** [95]

7. Procédés industriels d'électrozingage

7.3. Lutte contre la fragilisation par H_2







Zn-Ni joue l'effet barrière à la diffusion de l'hydrogène dans l'acier XC68 grâce à la couche de Ni formée pendant les premiers instants d'électrolyse

Revêtement de Zinc alcalin perméable

Le Zn-Ni est non-fragilisant dans ces conditions de travail

8. Procédés industriels de Galvanisation à chaud

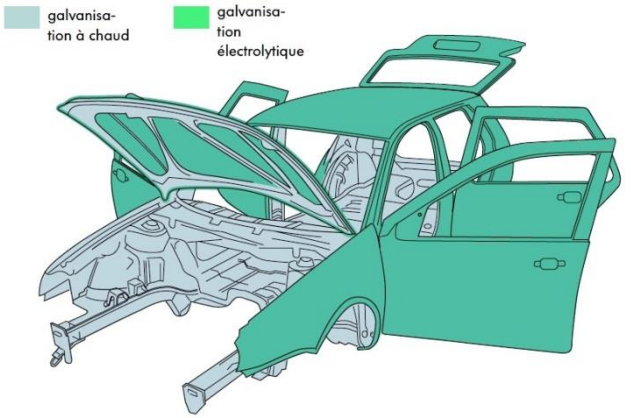
8.1. Processus et condition de traitement

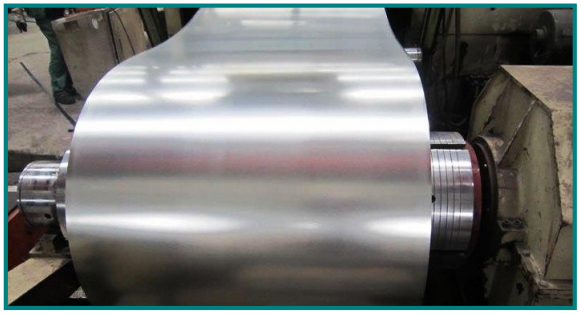
Un revêtement par galvanisation à chaud assure, grâce au recouvrement de l'acier par le zinc, une double protection :

- physico-chimique : effet barrière isolant l'acier de l'atmosphère, cette barrière perdurant à cause de la formation de sels de zinc protecteurs ;
- électrochimique : due à l'effet de protection cathodique apporté par le zinc vis-à-vis du fer qui se fait sentir à l'aplomb des blessures de revêtement.

Les paramètres principaux d'une opération réussie sont :

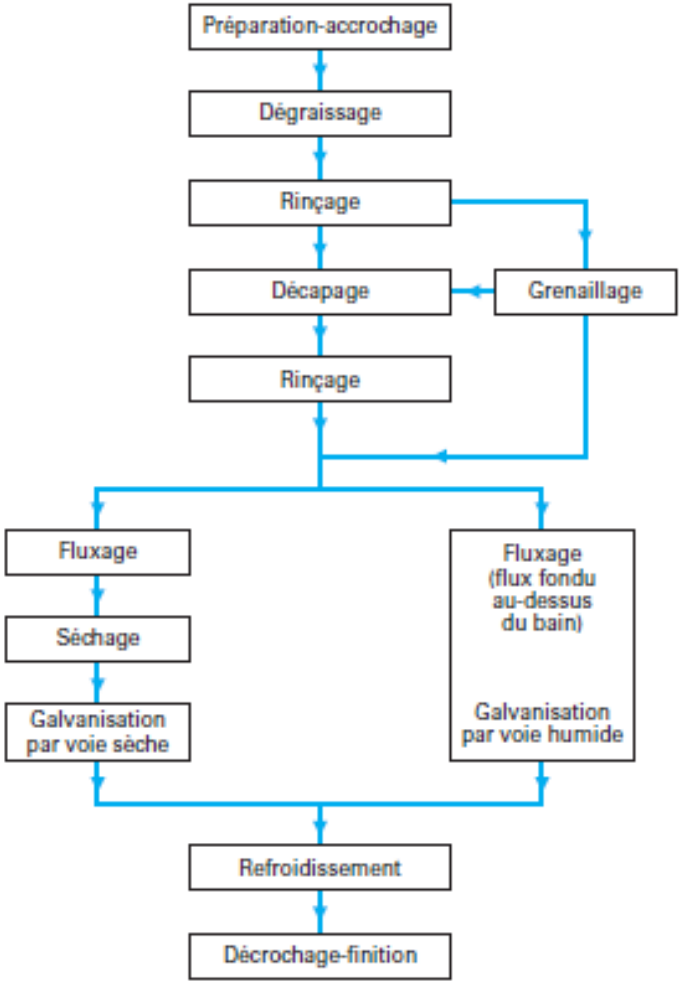
- *la nature de l'acier ;*
- *la composition du bain de zinc ;*
- *la température du bain de zinc ;*
- *la vitesse d'immersion ;*
- *la durée d'immersion ;*
- *la vitesse d'émersion ;*
- *le vibrage et la centrifugation ;*
- *le refroidissement.*





8. Procédés industriels de Galvanisation à chaud

8.1. Processus et condition de traitement



Les étapes en atelier :

1) Décapage

Il est réalisé soit par voie sèche, par sablage ou grenaillage, soit par voie humide en milieu acide chlorhydrique ou acide sulfurique en présence d'inhibiteurs de corrosion.

2) Rinçage

Un premier rinçage est effectué afin de ne pas polluer les opérations suivantes.

3) Fluxage

Le fluxage consiste à déposer sur la surface des pièces un mélange de chlorure de zinc et de chlorure d'ammonium.

Pour assurer son rôle multiple, le flux doit posséder un certain nombre de propriétés physiques comme :

- une faible viscosité (addition de chlorures alcalins) ;
- une faible tension superficielle (meilleure mouillabilité) ;

4) Second rinçage

Précédent le traitement au zinc électrolyte, un autre rinçage de la pièce est effectué.

5) Immersion bassin

Le revêtement de zinc est réalisé par l'électrolyse d'une solution aqueuse contenant des sels métalliques (sulfate de zinc) sur la pièce en acier.

L'électrolyse consiste à convertir l'énergie électrique en énergie chimique.

8. Procédés industriels de Galvanisation à chaud

8.2. Caractéristiques techniques du revêtement

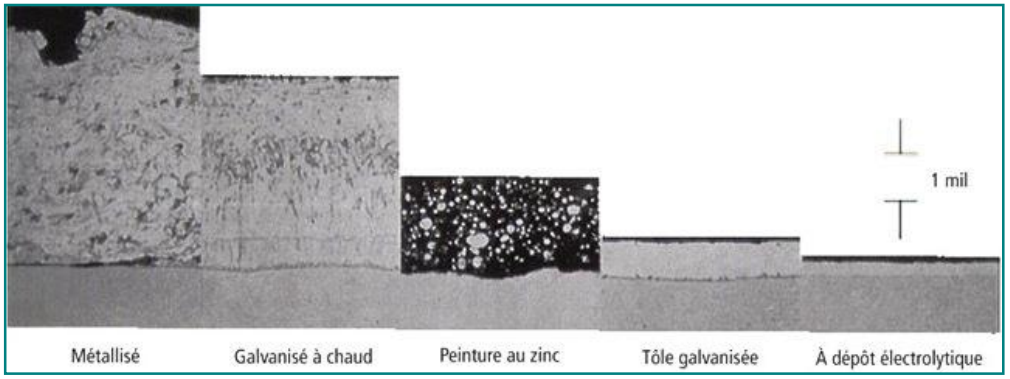
Caractéristiques techniques

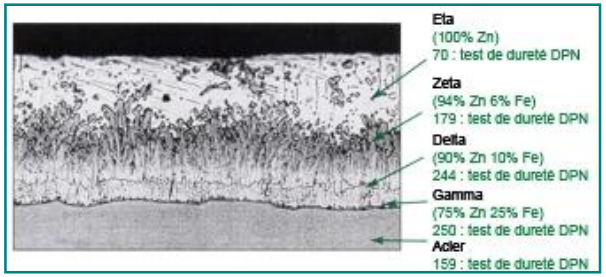
- **Aspect de surface**

La qualité de surface obtenue satisfait aux exigences les plus sévères en matière d'aspect après peinture pour la réalisation des pièces extérieures de carrosserie.

- **Types de revêtements à base de zinc**

Pour une protection anticorrosive, cinq méthodes de revêtements à base de zinc sont disponibles. Elles se différencient par l'épaisseur d'alliages de zinc, les méthodes d'application et la durée de vie apportée par chacun des procédés : métallisation, galvanisation à chaud, peinture au zinc, feuille galvanisée et plaquage au zinc.





Photomicrographie d'un revêtement galvanisé

8. Procédés industriels de Galvanisation à chaud

8.2. Caractéristiques techniques du revêtement

Aciers à galvaniser :

Tous les aciers réagissent avec le zinc pour former un revêtement composé d'alliages fer-zinc. La qualité du revêtement obtenu **dépend de la composition de l'acier**. Les aciers dont la composition correspond au **domaine de Sandelin sont rejetés car les revêtements sont épais**, fragiles et peu adhérents.

La norme **NF A 35-503** définit **trois classes d'aciers préconisés pour la galvanisation en fonction de la composition** des aciers en **silicium et en phosphore** :

Classes d'aciers	**Teneures Si & P**
Classe 1 :	Si % < 0,030 Si % + 2,5 P % < 0,090
Classe 2 :	Si % < 0,040 Si % + 2,5 P % < 0,110
Classe 3 :	0,15 ≤ Si % ≤ 0,25 Si % + 2,5 P % < 0,325 P ≤ 0,040

8. Procédés industriels de Galvanisation à chaud

8.2. Caractéristiques techniques du revêtement

Figure : Effet du Si et P sur l'épaisseur du revêtement galvanisé

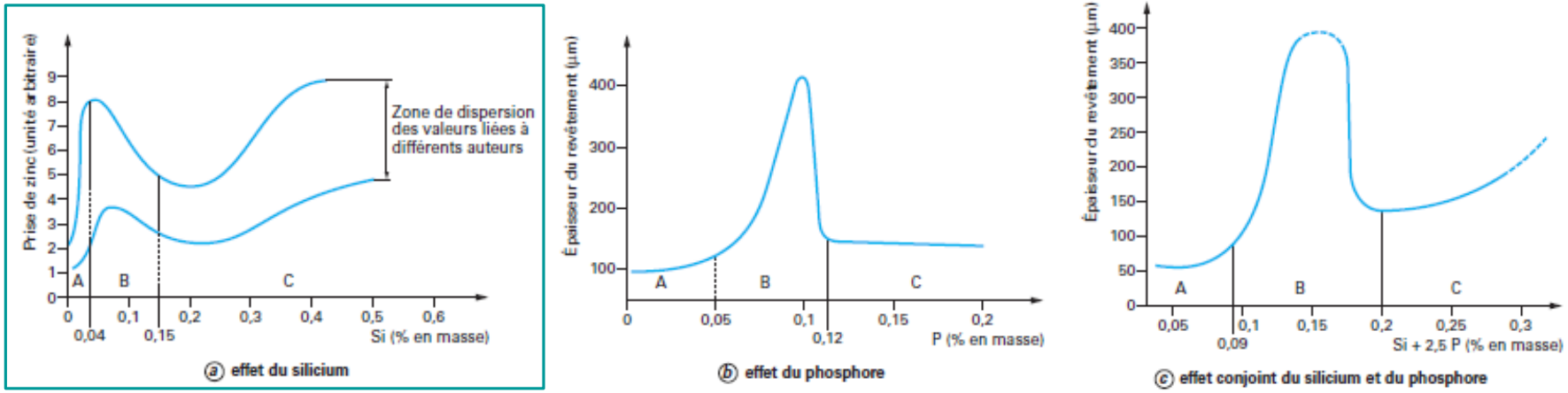
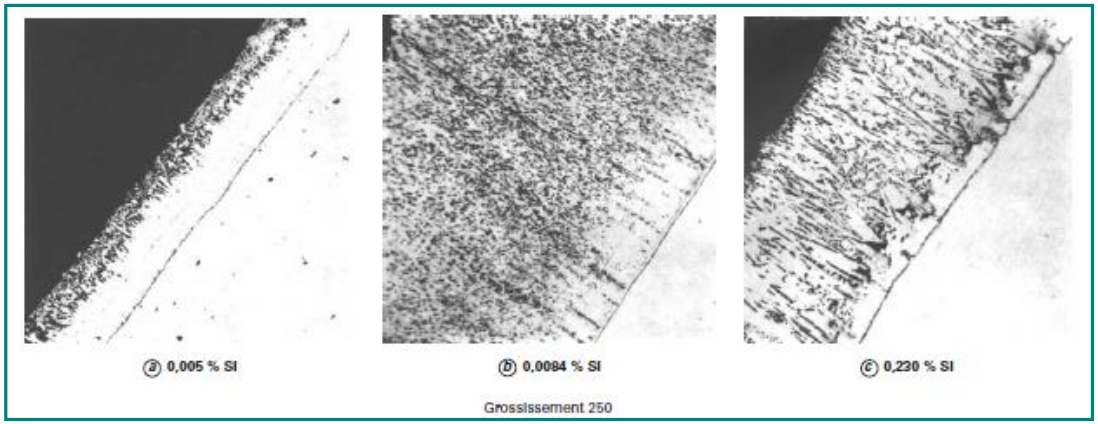


Figure. : Effet du silicium sur la structure des revêtements galvanisés



8. Procédés industriels de Galvanisation à chaud

8.3. Composition des bains

Ces éléments présents dans le bain de zinc ont une grande influence sur l'aspect de surface des produits galvanisés obtenus.

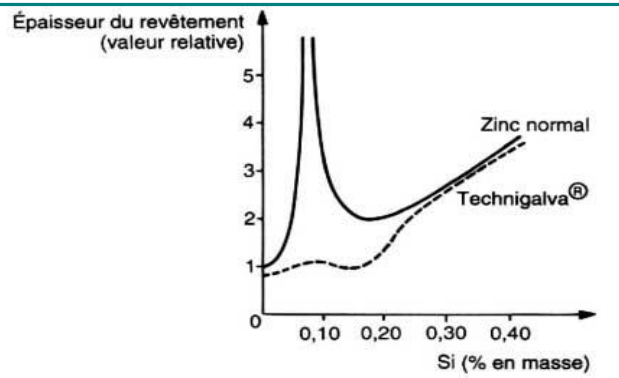
- **Le plomb :** son rôle théorique est d'améliorer la mouillabilité de la bande, mais surtout de donner une cristallisation à fleurs apparentes.
- **L'aluminium :** son rôle est triple :
  - ✓ au niveau du creuset : les mattes Fe-Zn qui s'accumulent au fond se transforment en mattes flottantes avec incorporation d'aluminium ;
  - ✓ sur la structure du revêtement : la formation des alliages interfaciaux Fe-Zn est inhibée, on a seulement une très fine couche d'alliage Fe-Al ; les alliages Fe-Zn étant très fragiles, on améliore ainsi la ductilité et l'adhérence du revêtement sur l'acier ; si la réactivité est forte, des alliages Fe-Zn peuvent se former localement ;
  - ✓ il agit aussi comme un désoxydant énergique en réduisant, lors de la pénétration de la bande dans le bain, les oxydes superficiels formés lors du recuit ;
  - ✓ De façon générale, l'aluminium a une action très significative sur la ductilité du revêtement, l'adhérence, le fleurage, la brillance, la rugosité, la susceptibilité à la rouille blanche.
- **Le fer :** il est apporté par la bande. Sa quantité dépend de la réaction fer-zinc, donc de l'état de la bande lors de son entrée dans le bain..

8. Procédés industriels de Galvanisation à chaud

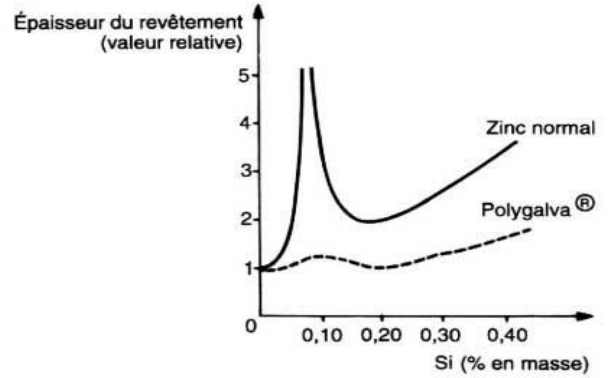
8.3. Composition des bains

Autres paramètres influents :

- température de la bande à l'entrée du bain 470-500°C ;
- température du bain 460-485°C ;
- creuset (≈ 200 t) en céramique avec chauffage et brassage par induction ;
- l'approvisionnement par lingots de zinc de 2 t de composition déterminée (exemple : Al ≈ 0,45 %-Pb ≈ 0,03 % + résiduels Cd, Fe, Sn, Cu) ;
- l'équipement de cuve : le rouleau de fond sur lequel passe la bande, en général non motorisé, doit avoir un bon contact avec la bande (rainurage spécial), sans patinage.



(a) **bain Technigalva®** (développé par la société Métaleurop)



(b) **bain Polygalva®** (développé par la société Asturienne des Mines)

Organisent

La 2ème Edition de l'Ecole de Traitements de Surface et Environnement - ***ECOTSE-2013***

Sous le thème : **Anticorrosion: Applications Industrielles et Modélisation**

Merci pour votre attention